

De-NO_x 저감장치가 온실가스 배출량에 미치는 영향 연구

김성우* · 김정환* · 김기호† · 오상기**

A Study on the Effect of De-NO_x Device on GHG Emissions

Sungwoo Kim, Jeonghwan Kim, Kiho Kim and Sang-Ki Oh

Key Words: Greenhouse Gas(온실가스), CH₄(메탄), CO₂(이산화탄소), LNT(희박질소촉매), SCR(선택적환원촉매).

Abstract

As increase the number of vehicles, the issue of greenhouse gas that was emitted by them became important. As a result, greenhouse gas (GHG) regulations are being strengthened and efforts are being actively made to reduce greenhouse gas emissions in the automotive industry. In the other hand, regulations for harmful emission of vehicles have been reinforced by step. Especially, the lastly applied step, so called Euro 6, not only decreased NO_x limit down to half of Euro 5 but also introduced real driving emission limit for NO_x and PN. It is a challenge for manufacturers to meet the recent GHG regulation as well as the latest emission regulation. To overcome these regulations a De-NO_x after-treatment system is being applied to diesel vehicles that are known emitting the lowest GHG among conventional internal combustion engines. At the time of the introduction of Euro 6 emission standard in Korea, in the domestic fuel economy certification test, some diesel vehicles emitted more CH₄ than Euro 5 vehicles. As a result, it was confirmed that LNT-equipped vehicles emitted a high level CH₄ and the level exceeded the US emission standard. In order to determine the reason, various prior literature was investigated. However, it was difficult to find a detailed study on the methane increase with LNT. In this paper, to determine whether the characteristics of vehicles equipped with LNT the affects the above issue and other greenhouse gases, 6 passenger cars were tested on several emission test modes and ambient temperatures with a environment chamber chassis dynamometer. 2 cars of these were equipped with LNT only, other 2 cars had SCR only, and LNT + SCR were applied to remaining 2 cars. The test result shown that the vehicles equipped with LNT emitted more CH₄ than the vehicles with SCR only. Also, CH₄ tended to increase as the higher acceleration of the test mode. However, as the test temperature decreases, CH₄ tended to decreased. CO₂ was not affected by kinds of De-NO_x device but characteristic of the test modes.

1. 서 론

세계적으로 자동차에 대한 수요가 증가하면서 이에 수반한 온실가스 배출량에 대한 문제가 중요한 이슈가

되고 있다. 이에 따라 선진국을 중심으로 온실가스 규제를 강화하고 있으며, 특히 자동차 관련 산업분야에 있어 온실가스 배출을 줄이기 위한 노력이 활발히 진행되고 있다. 이를 위한 방안으로 에너지변환방식 및 대체에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이에 따라 다양한 기술들에 대한 환경성을 평가하고 온실가스 배출량을 객관적으로 정량화하여 비교하기 위한 기준 마련이 요구되고 있다⁽¹⁾.

온실가스에 대한 규제와 더불어 경유자동차에서 배출되는 입자상물질 및 질소산화물 또한 인체에 유해한 물질로서 이를 저감하기 위한 다양한 후처리장치가 사용

(Received: 12 Nov 2018, Received in revised form: 12 Dec 2018, Accepted: 13 Dec 2018)

*김정환, 김성우, 한국석유관리원 석유기술연구소

**오상기, 경기과학기술대학교 자동차과

†김기호, 한국석유관리원 석유기술연구소

E-mail : kkh2373@kpetro.or.kr

TEL : (043)240-7951 FAX : (043)240-7969

되고 있다. 특히 질소산화물 저감을 위해서 사용되는 LNT (Lean NOx Trap) 및 SCR (Selective Catalytic Reduction)의 경우 질소산화물 저감에 대해서는 많은 연구결과^(2,3)가 도출되었지만 온실가스 배출과 연계된 자료는 미흡한 실정이다.

자동차에서 배출되는 온실가스는 이산화탄소가 주를 이루고 있으며 메탄의 경우 배출량이 소량이다 보니 상대적으로 관심도가 떨어지며 배출경향에 대한 연구 또한 미흡한 실정이다. 그러나 메탄의 지구온난화 지수는 이산화탄소의 21배로 알려져 있으며 미국에서는 메탄을 이산화탄소 및 아산화질소와 함께 규제대상 자동차 온실가스로 관리하고 있으나 국내에서는 아직까지 규제대상물질에는 포함되어 있지 않고 있다.

Euro 6a 도입 시기에 국내 연비 인증시험에서 일부 디젤 차량들이 Euro 5 차량보다 많은 CH₄를 배출하였고, 확인결과 LNT 장착차량에서 유독 CH₄가 높게 배출됨과 더불어 미국의 메탄 배출가스 허용기준을 초과하는 것을 확인할 수 있었다. 이 원인을 확인하기 위하여 다양한 관련 선행문헌들을 조사하였으나 LNT 장착에 따른 CH₄ 증가와 관련하여 심도 있게 연구한 문헌은 찾기 어려웠다.

위 현상이 LNT 만의 특성에 따른 영향인지 또는 자동차 제작사가 배출가스 규제단계 한도 내에서 개발한 Mapping에 의한 영향인지 또는 운전조건에 의한 영향인지에 따라 온실가스 저감 대책(적용기술)이 달라져야 하기 때문에 이에 대한 확인이 필요하였으며, 또한 다른 온실가스(CO₂) 배출량에도 영향을 주었는지도 확인이 필요하였다. 본 연구는 실험적 데이터로 위 원인을 간접적으로 규명하고자 다양한 De-NOx 장치를 적용한 차량이 다양한 시험모드에서 배출하는 온실가스(CO₂, CH₄)

배출량을 비교하고 분석하였다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 시험차량

본 연구에서 NOx저감을 위한 대표적 적용기술인 LNT, SCR, LNT+SCR장치가 온실가스 배출에 미치는 영향을 평가하기 위해 각각의 장치가 적용된 시험차량을 선정하였다. EURO 6a기준을 만족하는 경유차량 2대(시험차량 A, B)는 LNT가 장착되었으며, EURO 6b기준을 만족하는 차량 2대(시험차량 C, D)는 SCR이 장착되어 있다. EURO 6d temp.를 만족하는 차량 2대(시험차량 E, F)는 최신의 기술로서 LNT+SCR이 장착된 차량이다.

모든 시험차량의 총 누적주행거리는 약 2.5만±1,000 km 내외로 배출가스 보증기간(7년 또는12만km) 이내이므로 후처리장치의 노후화 영향은 없을 것으로 간주하였다. 시험차량에 대한 상세제원은 Table 1과 같다.

2.2 시험장비

2.2.1 차대동력계

차대동력계는 자동차가 실제도로를 주행할 때 받는 부하를 동일하게 모사하기 위한 장비로서 정속, 가속, 감속 시 받는 부하를 전기모터를 사용하여 구현한다. 본 연구에서 사용된 차대동력계는 AC동력계(AVL GmbH.)로 관성중량, 동력흡수계 및 제어기로 구성되어 있으며, 자세한 제원은 Table 2에 나타내었다.

2.2.2 배출가스 분석시스템

본 연구에서 사용된 배출가스 측정장치(HORIBA

Table 1 Spec. of test vehicles

Vehicle Items	A	B	C	D	E	F
Engine	CRDI VGT	CRDI VGT	CRDI VGT	CRDI VGT	CRDI VGT	CRDI VGT
Displacement (cc)	2,199	2,199	2,959	2,143	2,199	1,955
Max. Power (ps/rpm)	202/3,800	202/3,800	260/3,800	170/3,000	220/3,800	190/4,000
Max. Torque (kg·m/rpm)	45/1,750~2,750	45/1,750~2,750	57.1/1,500~2,300	40.8/1,400	45/1,750~2,750	40.8/1,750~2,500
DeNOx device	LNT	LNT	SCR	SCR	LNT+SCR	LNT+SCR
Curb weight (kg)	1,691	2,138	2,170	1,950	1,785	2,170
Regulation	Euro 6a	Euro 6a	Euro 6b	Euro 6b	Euro 6d temp.	Euro 6d temp.
Odometer distance (km)	< 17,000	< 35,000	< 13,000	< 15,000	< 12,000	< 21,000

Table 2 Spec. of Chassis Dynamometer

Roll type & diameter	Single Roll (48inch MIM type)
Simulated vehicle weight	454~5400 kg
Electric motor absorber type	AC IGBT Vector
Max. speed	200 km/h
Registration of actual speed value	± 0.01% km/h
Registration of actual tractive force value	± 0.1% F.S. (F.S.: 5870N)
Measurement of driving distance	Encoder type
Max. flow rate of cooling fan	63000CFM

Co., MEXA series)는 자동차의 배출가스 중 CO, THC, NOx, CO₂, CH₄를 분석할 수 있는 장치로서 CO 및 CO₂는 비분산 적외선 분석법, THC는 열식 불꽃 이온화 검출기법, NOx는 화학발광법, CH₄는 GC-FID로 분석한다. 배출가스 분석시스템의 상세제원은 Table 3과 같다.

2.2.3 고·저온 챔버

본 연구에서 적용한 다양한 온도구현과 일반온도조건이 아닌 동하절기 온도조건을 모사한 시험모드(US06, SC03, Cold FTP) 구현을 위하여 고·저온 챔버를 사용하였다. 고·저온 챔버는 시험실이 향온·향습을 유지할 수 있도록 냉동기, 히터 및 가습기를 이용한다. 시험에 사용된 고·저온 챔버는 -40°C~60°C의 온도 조건 및 상대습도 40%~60% 조건을 유지할 수 있는 시설이다.

2.3 시험방법

Table 4는 시험모드별 특징을 나타내고 있고 Fig. 1은 각 모드의 속도 프로파일을 나타내고 있다. 자동차 배출가스에 영향을 미치는 주요한 원인은 선행연구에서 많이 제시되었듯이 시동성 포함여부, 차량의 가속도, 시험

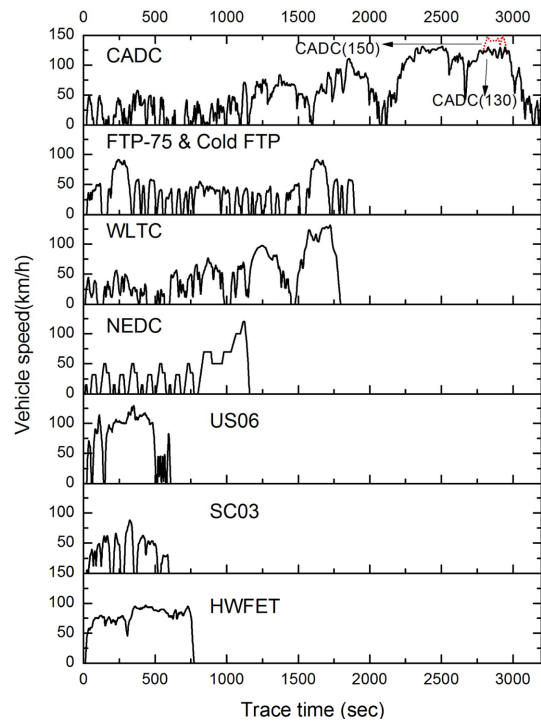


Fig. 1 Vehicle speed schedule of each test mode

온도, 액세서리 사용 등이다. 이러한 연구결과를 기반으로 먼저, 냉간 시동성 포함여부에 따른 영향을 살펴보면 FTP-75 및 NEDC, WLTC, CADC모드가 최초 운전 시 냉간 시동으로 시작한다. 따라서 이 모드들에서는 시험 초기 엔진 연소불안정 및 촉매 활성화온도 미달로 인해 다량의 배기가스가 배출될 것을 예상할 수 있다. 두 번째로 차량의 가속도가 주요한 영향을 미치는데 냉간 시동을 포함한 모드의 최대 가속도를 살펴보면 CADC > WLTC > FTP > NEDC 순으로 높다. 따라서 이러한 모드순서로 배출가스가 높을 것으로 예상할 수 있다. 다만 FTP-75모드는 10분간 휴지시간을 포함하고 있어 다소

Table 3 Spec. of emission analyzer

Emission	Method	Range		Linearity and repeatability
		Min.	Max.	
HC	H.FID	0~10 ppmC	0~500 ppmC	Within ±2% of full scale
CO	NDIR	0~10 ppm	0~2500 ppm	
CO ₂		0~1%	0~16%	
NOx	CLD	0~10 ppm	0~500 ppm	
CH ₄	GC-FID	0~10 ppm	0~50 ppm	

Table 4 Feature comparison by test mode

Mode	Mode characteristic	Max accel. (kph/s)	Test temp. (°C)	Cold start
FTP-75 (Cold FTP)	City	5.3	25±5 (-7)	○
HWFET	Highway	5.2	25±5	×
US06	extra high speed & accel.	13.6	25±5	×
SC03	Hot temp. & A/C on	8.2	35 R.H.40%	×
NEDC	Urban/Extra urban	3.7	25±5	○
WLTC	Low/Medium/High/Extra high speed	7.1	23±5	○
CADC 130	City/Rural/Highway	10.3	25±5	○

변동이 있을 수 있다. 냉간 시동을 포함하지 않은 모드의 최대 가속도를 살펴보면 US06 > SC03 > HWFET 순으로 높다. 따라서 이 모드 순서대로 배출가스가 많이 배출될 것으로 예상되나 SC03의 경우 시험온도가 35°C 이고 에어컨을 작동하기 때문에 US06과 SC03의 배출량 순위는 변동이 가능하다. 세 번째로 시험온도는 동일 모드별 온도에서 낮은 온도일수록 많은 배출가스가 배출되는 것으로 연구되고 있다. 본 연구에서 NEDC 및 WLTC 속도계획을 유지하고 Soaking 및 시험온도를 -7°C 및 14°C를 추가로 적용하여 시험하였다(시험차 E와 F는 1°C와 29°C 적용). 온도에 따른 NOx 배출가스는 -7°C > 14°C > 23°C 순으로 배출되는 것으로 알려져 있다⁽⁴⁾.

3. 시험결과

De-NOx 후처리장치가 장착된 6대의 시험차량을 대상으로 현행 규제시험모드, 온도별 시험조건 및 가혹한 시험모드 등 다양한 조건을 반영하여 평가를 수행하는 과정에서, 시험 여건이 충족치 못해 일부 시험모드는 본 연구결과에 포함되지 못했으며 전체적인 경향 분석은 시험이 완료된 결과만을 바탕으로 수행하였다.

3.1 시험모드별 CH₄ 배출 결과

3.1.1 시험온도에 따른 배출특성

Figure 2는 배출가스 규제시험이 수행되는 23°C, 유럽의 WLTP에서 언급되고 있는 14°C 및 저온 배출가스 시험 온도 조건인 -7°C에서 수행한 결과를 나타낸다. 시험차량 E와 F는 모든 온도조건에서 시험을 수행하지는 못

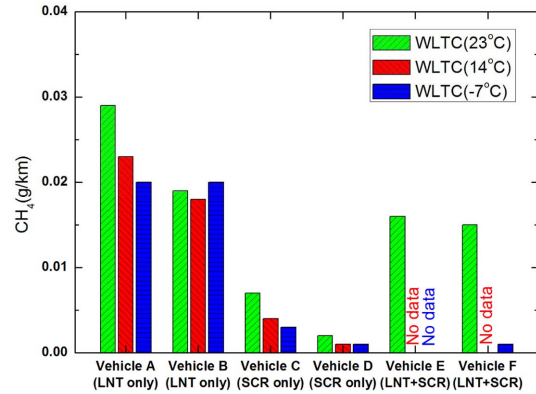


Fig. 2 CH₄ emission on WLTC mode by temp

했지만, 그림에서 보는바와 같이 전체적으로 시험온도가 낮아질수록 CH₄ 배출량 또한 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 그리고 De-NOx 후처리장치별 경향성을 보면 SCR만 장착된 시험차량 C와 D가 가장 낮은 값을 나타내고 SCR+LNT < LNT 장착 차량 순으로 배출량이 많은 것을 알 수 있다.

3.1.2 5-cycle 모드에서의 배출특성

5-cycle 모드는 미국의 자동차 배출가스 규제시험모드이며 국내에서는 휘발유자동차에 대해서만 규제시험모드로 적용하고 있다. 5-cycle 모드의 구성이 도심(FTP-75), 고속도로(HWFET), 급가·감속(US06), 에어컨(SC03) 및 겨울철 모사(Cold FTP-75)와 같이 다양한 운전조건에서 평가가 이루어지기 때문에 CH₄ 배출특성 분석에 유용할 것으로 판단되어 수행하였다.

Figure 3은 5-cycle 모드에서의 시험차량별 CH₄ 배출특성을 나타내고 있다. 후처리장치에 따른 배출 경향은

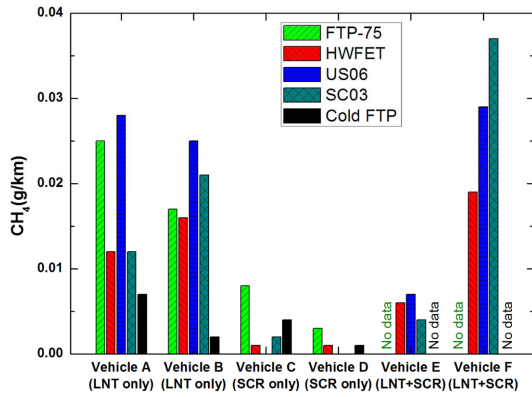


Fig. 3 CH₄ emission on 5-cycle modes

시험차 F에서 다소 많은 배출을 보이고 있으나 전체적인 경향은 SCR < SCR+LNT < LNT 순으로 시험온도 별 결과와 유사하게 LNT 장치가 포함된 차량에서 CH₄가 높게 배출되는 것을 알 수 있었다. 시험모드 특성에 따른 경향성은 명확한 일관성을 찾기는 어렵지만, Fig. 2에서 확인되었듯이 저온 및 고속도로 조건에서 다소 낮은 편이며 운전조건이 가혹한 US06 및 SC03 모드에서 높게 배출되는 것으로 보이고 있다.

3.1.3 과도한 운전조건에서의 배출특성

CADC(Common Artemis Driving Cycle)는 Europe Artemis Project에서 2005년 개발된 모드이며 Artemis (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory System)로도 표현한다. 이 모드는 유럽의 실제 도로에서 발생하는 배출가스를 모델링하기 위하여 만들어졌다. CADC는 3개의 Phase로 이루어져 있다. Phase 1은 도심주행 모사, Phase 2는 교외주행을 모사하였으며 Phase 3은 고속도로 주행을 모사하는데 최고속도를 130 km/h 또는 150 km/h로 선택하여 사용할 수 있다. 본 연구에서는 CADC 130과 150을 모두 시험하였다.

5-cycle 모드 중 과도한 운전모드인 US06과 SC03 모드 그리고 CADC 130과 150 결과를 Fig. 4에 나타내었다. De-NOx 후처리장치에 따른 CH₄ 배출 경향은 앞서 언급한 결과와 유사하게 SCR < SCR+LNT < LNT 순으로 나타났다. 운전조건에 따른 배출특성은 시험차량 별로 차이는 있으나 US06 및 SC03 모드 보다는 CADC 모드에서의 CH₄ 배출량이 다소 낮다고 판단되어진다. Table 4에서 모드별 특징을 보면 최대가속도가 US06모드가 가장 높고 그 다음으로 CADC 모드 인 것으로 미

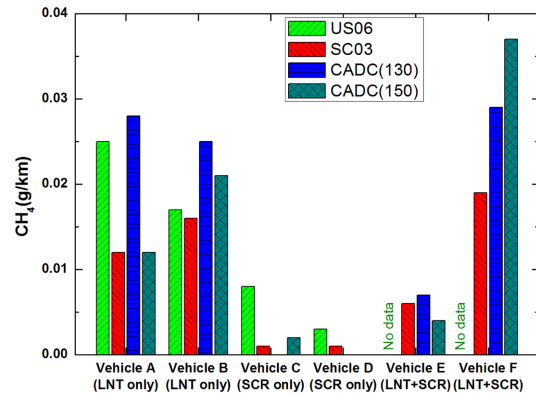


Fig. 4 CH₄ emission on aggressive modes

루어볼 때, CH₄ 배출특성이 공격적인 운전성향과 일정 부분 연관성이 있는 것으로 사료된다.

3.1.4 다양한 운전조건에서의 배출특성

위에서 설명한 시험결과와 더불어 이전 유럽 및 국내 경유자동차 배출가스 규제시험모드였던 NEDC 모드에서 온도조건을 다양하게(23°C, 14°C, -7°C) 적용하여 시험한 결과를 포함한 전체결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그리고 그림 중간에 있는 적색 선은 CH₄에 대해 미국에서 규제하고 있는 규제치(0.009 g/km)를 나타낸다.

De-NOx 후처리장치가 적용된 각 차종별 CH₄ 배출경향은 전체적인 시험결과와의 경향성을 볼 때 SCR < SCR+LNT < LNT 순으로 나타나고 있으며, LNT 없이 SCR만 장착된 차량은 미국에서의 규제치보다도 낮은 수치를 나타내고 있어 LNT 장치가 CH₄ 배출량 증가에 일정부분 기여한다고 판단되어진다.

NEDC 모드에서의 온도별 특성은 WLTC와 유사하게 온도가 낮아질수록 CH₄ 배출량 또한 낮아지는 것으로 미루어볼 때, 시험온도 조건이 낮을수록 CH₄ 배출량은 낮아진다는 것을 알 수 있다.

다양한 운전조건에 따른 CH₄ 배출 특성은 본 연구결과에서 각각의 차량마다 일정한 경향성이 나타나지 않아 단정적으로 언급하기에는 다소 무리가 있지만, 각 운전조건 특성 중 최대가속도가 높은 시험모드에서 보편적으로 CH₄ 배출량도 많았으므로, 과도한 가감속의 반복은 CH₄ 배출량 증가에 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다.

3.1.5 LNT 장착 차량에서의 CH₄ 배출

Figure 2~5의 결과에서 SCR만 장착된 차량보다 LNT

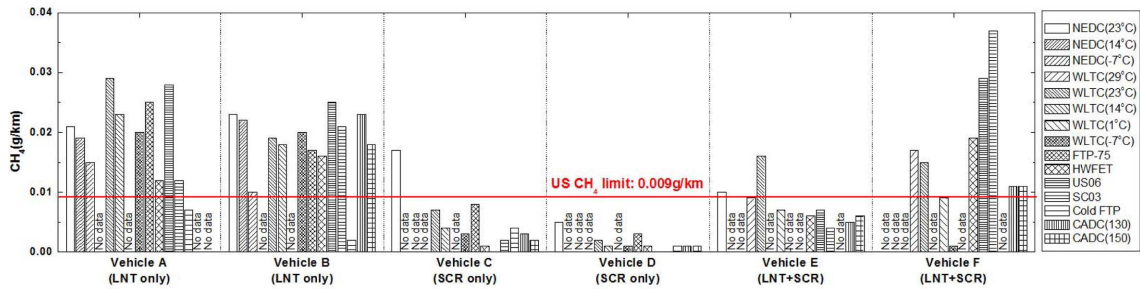


Fig. 5 CH₄ emission on several test modes

또는 LNT+SCR이 장착된 차량에서 CH₄ 배출량이 높게 나타나는 결과와 C. Favre *et al.* (2013)의 연구에서도 LNT 장착 차량이 상대적으로 많은 CH₄ 배출한 것⁽³⁾을 미루어 볼 때, LNT 장치 장착 여부가 CH₄ 배출량 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다.

LNT는 차량의 NO_x 배출량 저감을 위하여 희박한 분위기의 배출가스 중에서 NO_x를 흡장한다. 그러나 LNT의 흡장용량을 초과하는 NO_x는 더 이상 흡장되지 않기 때문에 LNT 재생이 필요하다. 이 재생은 농후한 배기가스 분위기 중 CO와 HC를 이용하여 흡장된 NO_x를 CO₂와 N₂로 탈장함으로써 이루어진다. 차량은 주기적인 재생을 위하여 농후한 연료분사와 분사시기 지연 또는 포스트 인젝션 등의 분사제어전략 등을 이용한다.

Figure 6은 각 시험차량이 23°C WLTC 모드에서 배출한 THC 실시간 농도(CVS 회석 배기가스)를 나타내고 있다. De-NO_x 장치로 LNT만을 장착한 시험차량 A와 B는 THC의 농도가 주기적으로 상승하는 것을 알 수 있으며 시험차 A는 6회, 시험차 B는 3회 상승한 것을 알 수 있다. 반면 SCR만을 장착한 시험차 C와 D에서는 초기 SCR이 활성화되지 않은 냉간 시동에서만 다소 높

은 THC 농도가 관측되고 있고 그 외 급격한 THC 농도 상승을 나타내지 않고 있어 LNT 장착 시험차 A와 B에서 THC 농도가 급격히 높아진 구간이 LNT 재생구간임을 알 수 있다. SCR과 함께 LNT를 장착한 시험차 E는 2회, 시험차 F는 1회의 THC 농도 상승이 관측되어 LNT만으로 NO_x를 저감하는 시험차 A 및 B보다는 재생주기가 길어졌음을 알 수 있다.

선행문헌의 내용에 따르면 공연비가 농후한 분사가 이루어진 경우 CH₄를 포함한 상대적으로 가벼운 HC의 배출량이 증가하는 것으로 알려져 있고⁽⁶⁾, CH₄는 일반적인 경유차의 배기가스 온도조건(~400°C)으로 DOC에서 전환율이 낮으며⁽⁶⁾ LNT에서 상대적으로 탈장과정에서 반응성이 낮은 것으로 나타난 것⁽⁷⁻¹⁰⁾으로 미루어 볼 때, 본 연구의 시험차 중 LNT 장착차량(A 및 B, E, F)은 LNT 재생을 위하여 주기적으로 농후한 분사를 하였고 이 때 발생한 CH₄가 DOC에서 산화되지 않고, LNT에서도 NO_x 탈장 반응에 참여하지 못하고 배출됨에 따라 SCR만을 장착한 차량(C 및 D) 대비 높은 CH₄ 배출량을 보이는 것으로 판단된다.

온도에 따른 재생특성을 확인하기 위하여 나타낸 Fig. 7

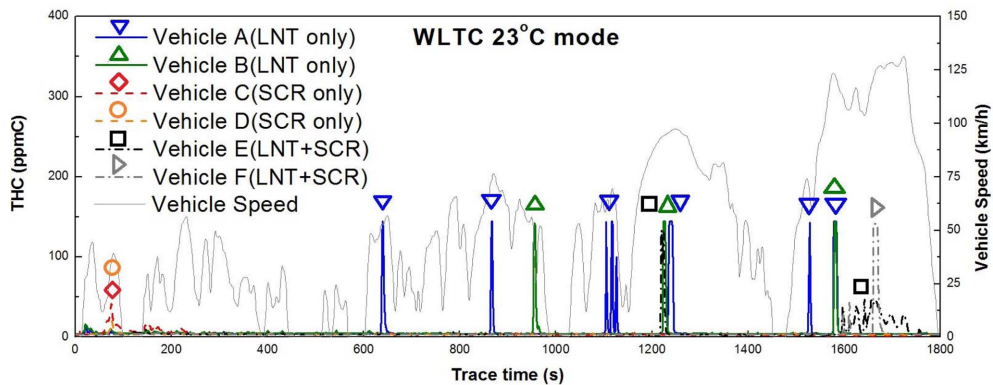


Fig. 6 THC real time emission (Constant volume sample dilution) on WLTC (23°C) modes

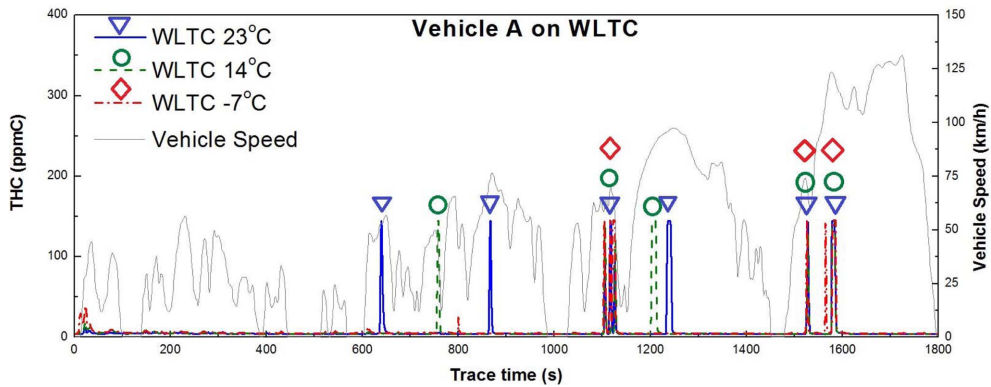


Fig. 7 THC real time emission (Constant volume sample dilution) of vehicle A on WLTC modes

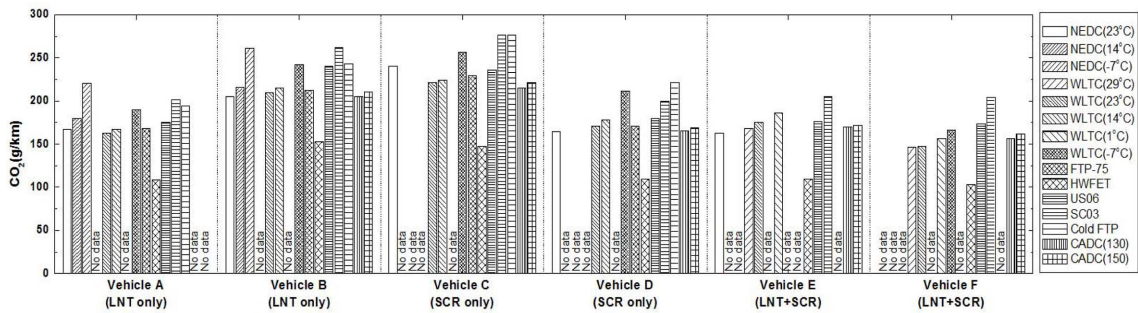


Fig. 8 CO₂ emission on several test modes

은 시험차량 A가 WLTC -7 및 14, 23°C 시험온도에서 배출한 THC 실시간 농도를 나타내고 있다. 23°C 조건에서는 6회의 LNT 재생이 일어난 것으로 추정되나 14°C에서는 5회로 줄어든 것을 확인할 수 있으며 -7°C에서는 3회로 더 줄어든 것을 확인할 수 있다. 따라서 온도가 낮아질수록 LNT 재생주기가 길어짐에 따라 CH₄ 배출량도 감소한 것으로 판단된다.

온도가 낮아짐에 따라 NO_x의 배출량이 높아진 결과⁽⁴⁾에도 불구하고 재생주기가 짧아진 것은 온도가 낮을수록 EGR 작동률이 낮아졌기 때문으로 판단되며 De-NO_x 장치 보호 등을 위하여 LNT 재생은 억제된 것으로 판단된다.

3.2 시험모드별 CO₂ 배출 결과

Figure 8은 시험차량 6대를 대상으로 다양한 운전조건에서의 CO₂ 배출량을 나타낸다.

먼저 온도별 CO₂ 배출량을 살펴보면 CH₄와 달리 온도가 낮아질수록 CO₂ 배출량은 증가하였다. WLTC 모드에서 온도조건별로 시험한 결과 시험온도가 낮아질수록 CO₂ 배출량의 증가가 시험차량 전 차종에서 명확하

게 나타나 CO₂는 시험온도가 낮아질수록 배출량이 증가한다는 것을 알 수 있었다. 이는 낮은 온도에 따른 초기 냉간 시동 시부터 예열되기 전까지의 증가된 내부 마찰력과 증가된 주행저항이 직접적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

그리고 CH₄ 배출경향과 같이 가혹한 모드에서 CO₂ 배출량이 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 모든 차량이 운전조건이 비교적 공격적이지 않은 HWFET 모드에서 전반적으로 CO₂가 낮게 배출되었으며, 급가-감속이 심한 US06 모드 및 여름철을 모사하고 에어컨을 가동하는 SC03 모드에서 CO₂ 배출이 타 운전조건에 비해 많은 것을 알 수 있다.

그러나 CH₄와 달리 LNT 장착 차량에서 CO₂ 배출량 증가 영향은 발견할 수 없었다. CH₄의 전반적인 배출량은 LNT only > LNT+SCR > SCR only 순으로 높았으나 CO₂는 De-NO_x 장치와 관계없이 시험차량 B, C > A, D, E > F 순으로 나타났다. 이론적으로 LNT 장착차량이 LNT 재생을 위하여 연료를 더 소모할 것으로 예상되었으나 위 결과로 미루어 볼 때 차량의 특성(엔진 배기량 및 공차중량)에 의한 영향이 더 크기 때문에 이

데이터에서는 드러나지 않는 것으로 판단된다.

De-NOx 후처리장치를 사용하지 않는 디젤 차량 (~Euro 5 규제대응)을 대상으로 배기가스를 연구한 선행문헌들^(2,11,12)에서도 본 연구와 같이 다양한 각 모드에서 보이는 각 차량의 CO₂ 증감 패턴이 유사하게 나타남에 따라 CO₂ 배출특성은 De-NOx 후처리장치의 종류보다는 시험모드의 운전조건(냉간 시동, 속도 범위, 가감속의 횟수 및 정도 등)에 더 크게 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

질소산화물 저감을 위해 가장 보편적으로 사용되는 LNT, SCR 및 LNT+SCR 장치가 장착된 차량을 대상으로 다양한 운전조건에서 온실가스 배출특성에 대해 시험을 하고 다음과 같은 결론을 얻었다

(1) 시험온도조건이 낮아질수록 CH₄ 배출량이 감소하였다.

(2) 운전조건이 과도한 시험모드(US06 및 SC03, CADC)에서 CH₄가 WLTC 모드보다 다소 많이 배출되었다.

(3) LNT(SCR+LNT 포함) 후처리장치가 장착된 차량에서 SCR만 장착된 차량보다 CH₄이 높게 배출되었다.

(4) SCR만 장착된 차량이 대부분의 시험모드에서 미국의 CH₄ 배출규제 값을 충족하였다(따라서 CH₄ 저감 효율을 높일 수 있는 DOC 귀금속 조성의 변경⁽¹³⁾은 LNT 장착차량의 CH₄ 저감을 위한 하나의 방법으로 판단되며 이에 따른 추가 연구도 수반되어야 할 것으로 판단된다).

(5) CO₂ 배출특성은 시험온도가 낮을수록, 운전조건이 과도할수록 배출량이 높게 나타났으며 De-NOx 장치의 뚜렷한 영향은 나타나지 않았다.

후 기

본 연구는 한국자동차산업협회의 지원으로 수행된 과제 결과의 일부이며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

(1) M. S. Kim, E. J. Yoo and H. H. Song, "Well-to-Wheel

Greenhouse Gas Emissions Analysis of Hydrogen Fuel Cell Vehicle-Hydrogen Produced by Naphtha Cracking", Transaction of KSAE, Vol. 25, No. 2, 2017, pp. 157~166.

(2) G. Kadijk, P. Mensch and J. Spreen, "Detailed investigations and real-world emission performance of Euro 6 diesel passenger cars", TNO report (TNO 2015 R10702), 2015.

(3) C. Favre, D. Bosteels, and J. May, "Exhaust Emissions from European Market-Available Passenger Cars Evaluated on Various Drive Cycles", SAE Technical Paper, 2013, 2013-24-0154.

(4) J. Kim, S. Kim and K. Kim, "NOx Emission Characteristics of Diesel Passenger Cars Met Euro 6a, 6b and 6d Regulations on Off-cycles", Journal of ILASS-KOREA, Vol. 23, No 3, 2018, pp. 136~148.

(5) B. West, S. Huff, J. Parks, S. Lewis, J. Choi, W. Partridge and John Storey, "Assessing Reductant Chemistry During In-Cylinder Regeneration of Diesel Lean NOx Traps", SAE Technical Paper, 2004, 2004-01-3023.

(6) Donnie J. Worth, Marc E. J. Stettler, Paul Dickinson, Kieran Hegarty and Adam M. Boies, "Characterization and Evaluation of Methane Oxidation Catalysts for Dual-Fuel Diesel and Natural Gas Engines", Emission Control Science and Technology, Vol. 2, Issue 4, 2016, pp. 204~214.

(7) Philip G. Blakeman, Paul J. Andersen, Hai-Ying Chen, J. David Jonsson, Paul R. Phillips, and Martyn V. Twigg, "Performance of NOx Adsorber Emissions Control Systems for Diesel Engines", SAE Technical Paper, 2003, 2003-01-0045.

(8) John W. Hoard, Alexander Panov, "Products and Intermediates in Plasma-Catalyst Treatment of Simulated Diesel Exhaust", SAE Technical Paper, 2001 2001-01-3512.

(9) Steven J. Schmieg, Byong K. Cho, and Se H. Oh, "Hydrocarbon Reactivity in a Plasma-Catalyst System: Thermal Versus Plasma-Assisted Lean NOx Reduction", SAE Technical Paper, 2001, 2001-01-3565.

(10) Yisen Cheng, John V. Cavataio, William D. Belanger, John W. Hoard, and Robert H. Hammerle, "Factors Affecting Diesel LNT Durability in Lab Reactor Studies", SAE Technical Paper, 2004, 2004-01-0156.

(11) K. Kim, S. Kim, M. Lee, S. Oh and S. Lee, "The Study on the Assessment Greenhouse Gases and Air Pollutants of Diesel Vehicle according to Ambient Tempera-

- ture and Driving Condition”, Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 6, 2014, pp. 77~83.
- (12) E. Kang, M. Chon, J. Um, K. Kim and Y. Seo, “Characteristics Evaluation of Fuel Economy and Emission according to Driving Mode Conditions of The Vehicle by Fuel Type”, KSAE Spring Conference Proceedings, 2015, pp. 199~202.
- (13) R. Burch, F. J. Urbano and P. K. Loader “Methane combustion over palladium catalysts: The effect of carbon dioxide and water on activity”, Applied Catalysis A: General, Vol. 123, Issue 1, 1995, pp. 173~184.